

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu

Design of a Machine for Pressing Small Parts into a Sheet Metal Blank

Student:

Patrik Scholaster

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

Ostrava: 20. 5. 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Patrik Scholaster**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Návrh zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu**
Design of a Machine for Pressing Small Parts into a Sheet Metal Blank
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu. Součástí návrhu bude i řešení uchycení polotovaru pro lisování závitového pouzdra.
Výkresová dokumentace bude obsahovat sestavu zařízení a výrobní výkres vybrané součásti.

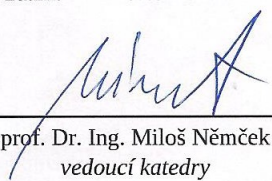
Seznam doporučené odborné literatury:

1. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: *Části strojů 1*. Praha: SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.
2. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: *Části strojů 2*. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00046-8.
3. DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I: Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
4. Leinveber, J.; Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. 3.dopl.vyd. Praha: Albra 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
5. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P.: *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha: 1993-1998. 8 svazků.
6. NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*. Druhé vydání Skriptu VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8, 111 s.
7. KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů-teorie+projekty*. Www-stránky kat. 347, 2015.
8. Fotodokumentace (elektronická).
9. Firemní katalogy, prospekty, normy a www-stránky s danou problematikou.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018
Datum odevzdání: 20.05.2019


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje společnosti BRANO GROUP, a.s.

V Ostravě dne 16.5. 2019

Pavil Šolach

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ведомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ведомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

16.5.2019

Patrik Scholaster

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Patrik Scholaster

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Větrkovice 42, 747 43, Větrkovice

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval paní Ing. Šárce Hurníkové, Ph.D., za odbornou pomoc, konzultaci a rady při vytváření této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SCHOLASTER, P.: *Návrh zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů – 347, 2019. 41 s. Vedoucí práce: Hurníková, Š.

Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu. V úvodu je provedeno uvedení do problematiky lisování, rozdělení druhů lisů dle způsobu vyvození síly a seznámení s pneumaticko-hydraulickým pohonem. V další části jsou popsány jednotlivé prvky a vysvětlen princip fungování celého zařízení. Výpočtová část se zabývá výpočtem lisovací síly a dále statickou kontrolou některých vybraných součástí. V poslední řadě je zkontrolován šroub spojující sloup a základní desku. Součástí práce je také výkres sestavy zařízení a výrobní výkres pouzdra.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SCHOLASTER, P.: *Design of a Machine for Pressing Small Parts into a Sheet Metal Blank*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms – 347, 2019. 41 p. Thesis head: Hurníková, Š.

This bachelor thesis deals with design of a machine for pressing small parts into a sheet metal blank. The introduction of pressing issues, sorting of press machines by method of exerting force and introduction of pneumohydraulic drives. In the next section are described individual parts and explained the principle of the whole machine. Calculation part deals with the pressing force calculation and static stress analysis check. At the end is dynamic stress check of screw between column and base plate. Assembly drawing and production drawing of box are parts of the enclosure of this bachelor thesis.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

1	Úvod	1
1.1.	Cíle práce.....	1
2	Rozdělení pohonů a uvedení do problematiky lisování.....	2
2.1	Lisy.....	2
2.1.1	Rozdělení lisů dle způsobu vyvození síly:	2
2.1.2	Mechanické lisy	2
2.1.3	Hydraulické lisy	3
2.1.4	Pneumatické lisy	3
2.1.5	Ostatní	4
2.2	Technologie TOX®-Powerpackage	4
2.2.1	Funkce pohonu:.....	4
2.3	Spoje.....	5
2.3.1	Druhy spojů:.....	6
2.4	Nalisované spoje (spoje tlakové).....	6
2.4.1	Způsoby lisování	6
2.5	Jednoúčelové stroje	8
3	Návrh a konstrukce zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu....	9
3.1	Popis funkce	12
3.2	Bezpečnostní prvky	14
3.3	Umístění výlisku v základacím lůžku	15
3.4	Pneumatické schéma	15
4	Návrh a kontrola vybraných částí	16
4.1	Volba pohonu	16
4.2	Kontrola na otlačení pouzdra	17

4.2.1	Určení maximálního a dovoleného otláčení.....	17
4.3	Kontrola ovládací páky	17
4.3.1	Určení ohybového, tahového napětí a redukovaného	18
4.3.2	Určení bezpečnosti.....	18
4.4	Kontrola razíkové desky.....	18
4.4.1	Výpočet reakcí	19
4.4.2	Určení ohybového napětí v maximálním ohybovém momentu.....	19
4.4.3	Určení dovoleného ohybového napětí	20
4.5	Pevnostní výpočet horní desky.....	20
4.6	Dynamicky namáhaný šroub	21
4.6.1	Předběžný návrh šroubu.....	21
4.6.2	Výpočet tuhosti v tahu šroubu:	22
4.6.3	Síly ve šroubovém spoji:.....	23
4.6.4	Určení kritických míst.....	24
4.6.5	Napětí v kritickém průřezu	27
4.6.6	Určení statické bezpečnosti šroubu.....	27
4.6.7	Výpočet dynamické bezpečnosti.....	28
4.6.8	Výsledná bezpečnost šroubu	29
5	Závěr.....	30
6	Seznam použité literatury	31
	SEZNAM PŘÍLOH.....	34

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Význam	Jednotka
a	vzdálenost	[mm]
b	vzdálenost	[mm]
d _d	minimální průměr díry ve výlisku	[mm]
d _h	maximální průměr pouzdra	[mm]
f	součinitel smykového tření	[-]
g	gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
h	vzdálenost	[mm]
k _s	statická bezpečnost	[-]
k _{σa}	dynamická bezpečnost na mezní amplitudě	[-]
k _{σh}	dynamická bezpečnost na horním napětí	[-]
k _τ	statická bezpečnost šroubu	[-]
k _v	výsledná bezpečnost	[-]
p	tlak	[MPa]
p _{dov}	dovolený tlak	[MPa]
t _l	tloušťka	[mm]
C _{př}	tuhost přírub	[N·mm ⁻¹]
C _s	tuhost šroubu	[N·mm ⁻¹]
D	průměr	[mm]
D _s	střední průměr stykové plochy	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	síla	[N]
I _y	kvadratický moment	[mm ⁴]

R	zaoblení	[mm]
R_1	zaoblení	[mm]
R_A	síla v reakci A	[N]
R_B	síla v reakci B	[N]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_z	zaoblení dna závitu	[mm]
S_k	vnější průměr hlavy šroubu	[mm]
α_σ	součinitel koncentrace napětí	[-]
β_σ	součinitel vrubu	[-]
ρ^x	materiálová konstanta	[mm]
σ_c	mez únavy materiálu šroubu	[MPa]
τ	namáhání v krutu	[MPa]
φ'	redukovaný třecí úhel	[°]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]

1 Úvod

Zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu slouží k nalisování dvou pouzder do plechového výlisku. Je to jednoúčelový stroj, který má zefektivnit proces lisování. Jednoúčelové stroje se vyrábějí pro různé druhy použití. Například značení pomocí laseru, svařování, děrování a mnoho dalších. Mohou být i zařazeny do výrobní linky, kdy je celý proces řízen automatickým systémem a obsluhován průmyslovými roboty. U jednodušších aplikací je obsluhou člověk. Pohon těchto zařízení se liší. Záleží na druhu operace. U náročnějších použití, kdy je zapotřebí vyvinutí větší síly, se používá hydraulických pohonů. Při opačných využitích stačí pohon mechanický.

1.1. Cíle práce

- Uvedení do problematiky lisování
- Návrh zařízení
- Návrh vhodného pohonu
- Kontrola vybraných částí

2 Rozdělení pohonů a uvedení do problematiky lisování

2.1 Lisy

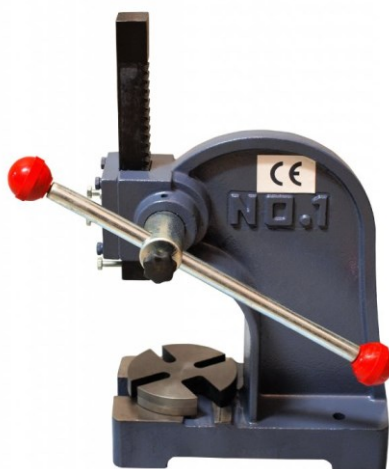
Lis je zařízení určené zejména pro lisování. Hlavním parametrem lisu je lisovací síla, která u většiny lisů působí vertikálně.

2.1.1 Rozdělení lisů dle způsobu vyvození síly

- a) mechanické,
- b) hydraulické,
- c) pneumatické,
- d) ostatní.

2.1.2 Mechanické lisy

Často se používají pro různé tvářecí práce v autodílnách, domácích dílnách a garážích pro nalisování ložisek nebo pro slisování drobných součástí. Běžné mechanické lisy vyvozují tlakovou sílu od 1 do 30 tun. Ruční mechanické lisy využívají principu páky. Obsluha tlačí silou na páku a přes hřebenový převod je vyvozena lisovací síla. Další možností je, že obsluha otáčí šroubem s velkým stoupáním. Ke šroubu je přidělána páka. V rámu je pevně uložená matice. Otáčením šroubu vzniká lisovací síla. Strojní mechanické lisy jsou například klikové. Princip těchto lisů spočívá v klikovém mechanismu. Na otáčející se klikové hřídeli je uložena ojnice. Rotační pohyb se přemění na pohyb přímočarý vratný. Dalším typem jsou lisy výstředníkové. Fungují na stejném principu jako klikové lisy, ale oproti nim mají výhodu nastavitelného zdvihu.



Obr. 2.1 - Mechanický lis [6]

2.1.3 Hydraulické lisy

Využívají principu Pascalova zákona. Zákon zní takto: Jestliže na kapalinu působí vnější tlaková síla, pak tlak v každém místě kapaliny vzroste o stejnou hodnotu. Dalším důležitým faktorem pro funkci hydraulického lisu je nestlačitelnost kapalin. Jako kapalina se používá hydraulický olej. Výhodou hydraulických lisů je vysoká lisovací síla, až 10^3 MN. Naopak mezi nevýhody patří složitější konstrukce a nižší účinnost.



Obr. 2.2- Hydraulický lis [7]

2.1.4 Pneumatické lisy

Využívají energii stlačeného vzduchu. Výhodou těchto lisů je snadná dostupnost potřebného média. Tím je v tomto případě vzduch, který je rozveden po valné většině podniků. Další výhodou pneumatických lisů je, že síla je konstantní po celé délce zdvihu.



Obr. 2.3- Pneumatický lis [8]

2.1.5 Ostatní

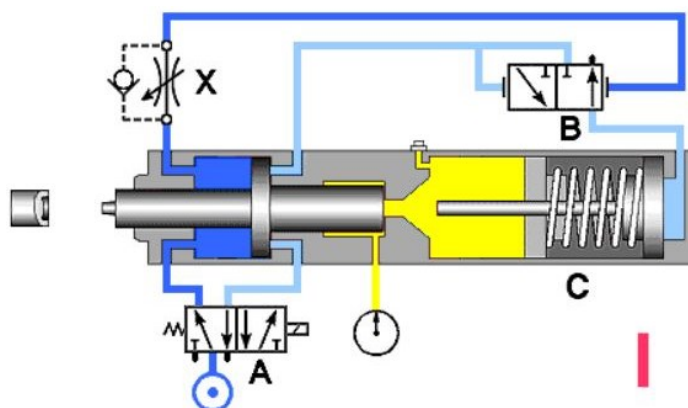
Mezi tyto druhy lisů patří například ty s pneumaticko-hydraulickým pohonem. Tento typ pohonu kombinuje kladné vlastnosti obou těchto systémů. Využívají ke své činnosti dvou médií, a to stlačeného vzduchu a hydraulické kapaliny.

2.2 Technologie TOX®-Powerpackage

Jsou pneumaticky poháněné vzduchové válce s integrovaným olejovým systémem a automaticky aktivovaným silovým zdvihem. Jeho hlavními výhodami jsou: dlouhá životnost, nízký odběr energie, nízká hladina zvuku, nízké náklady na údržbu a vysoká pracovní frekvence. Hodí se na mnoho různých aplikací, například pro lisování, děrování, nýtování a mnoho dalších. Lisovací síla je od 2 až do 2000 kN.

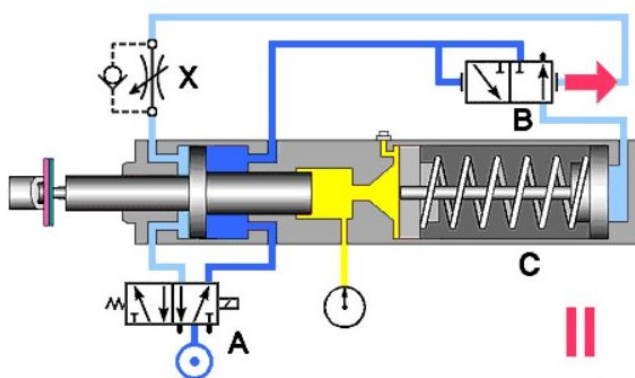
2.2.1 Funkce pohonu

a) Krok 1 rychlý náběh: Po zapnutí hlavního řídicího ventilu A se pracovní píst přesouvá velkou rychlostí, dokud nenarazí na překážku. Díky nárazu se přepne ventil silového zdvihu.



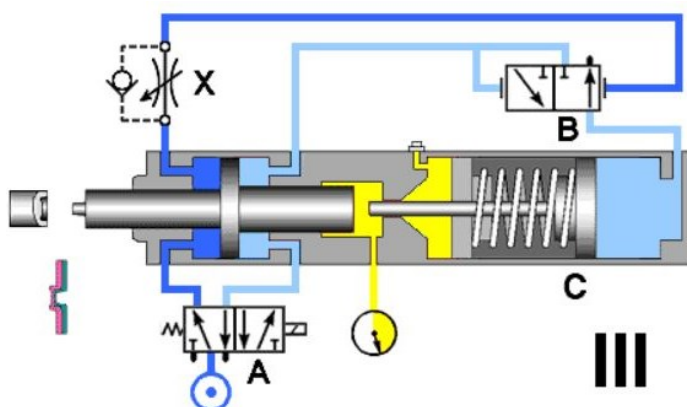
Obr. 2.4- Princip funkce TOX®-Powerpackage-1. poloha [9]

b) Krok 2 silový zdvih: Píst posilovače uzavře vysokotlakou komoru. Stlačí olej v pracovní oblasti. Píst dokáže stlačit olej v pracovní oblasti až na 400 barů. Stlačený olej tlačí na zadní stranu pracovního pístu. Tak vznikne silový zdvih.



Obr. 2.5- Princip funkce TOX®-Powerpackage-2. poloha [9]

c) Krok 3 zpětný zdvih: Po přepnutí hlavního řídicího ventilu A se automaticky odvětrá komora pomocí ventilu silového zdvihu. Pracovní píst a píst posilovače se vrátí zpátky do své původní polohy.



Obr. 2.6- Princip funkce TOX®-Powerpackage-3. poloha [9]

2.3 Spoje

Jakýkoliv stroj, mechanismus nebo zařízení se skládá z určitého počtu součástí. Ty musí být vhodným způsobem vzájemně spojeny a taktéž vhodným způsobem uspořádány. Tuto funkci zajišťují konstrukční spoje. Další funkcí spojů může být například přenos mechanické energie, tepla nebo třeba elektrické energie.

2.3.1 Druhy spojů

- šroubové spoje,
- svarové spoje,
- nýtové spoje,
- svěrné spoje,
- nalisované spoje,
- spojení pomocí drážek,
- polygonové spoje,
- spojení pomocí čepů a kolíků,
- lepené spoje.

2.4 Nalisované spoje (spoje tlakové)

Jsou to nerozebíratelné spoje, které využívají účinku svěrné síly. Ta vzniká tak, že zalisujeme 2 součásti s přesahem. Na kvalitu nalisovaného spoje má vliv velikost přesahu a kvalita povrchu obou součástí. Při volbě přesahu musíme brát v potaz velikost stykové plochy a požadovaný tlak. Příliš velký přesah by mohl znamenat trvalou deformaci spoje. Výhodou těchto spojů je vysoká přesnost souososti a kolmosti, dále jsou také vhodné pro velké zatížení a nevadí jim ani rázy nebo střídavé zatížení.

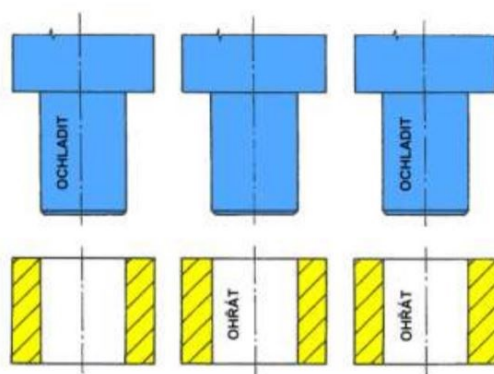
2.4.1 Způsoby lisování

- Lisování za studena: Probíhá za normálních teplot, kdy teplota obou součástí je stejná. Provádí se na lisech. Používá se pro menší válcové součásti asi do průměru 50 s malými přesahy. Stykové plochy větších součástí se mažou olejem. Tímto zabráňujeme zadření a zmenšujeme lisovací sílu. Ze stejného důvodu by se měli součásti konstrukčně upravit, a to sražením hran. Velikost sražení u vnitřní lisované součásti bývá v rozmezí $\alpha = 5^\circ$ až 15° . U vnější součásti to je $\alpha = 30^\circ$. Nevýhodou tohoto způsobu je částečné stržení povrchových nerovností. Tímto se zmenší původní přesah. Dalším záporem je možnost vzniku zadírání a nerovnoměrná deformace součástí.



Obr. 2.7- Ložisko nalisované za studena [10]

- Lisování za tepla: Stejně jako u lisování za studena jsou součásti vyrobené s přesahem. Po ohřátí nebo ochlazení musí jít součásti na sebe nenásilně nasunout. Ohřev probíhá v neutrální prostředí v inertním plynu nebo olejové lázni. Můžou nastat 3 možnosti. Ochlazení čepu. Používá se, když je čep tepelně zpracován. Ohřev náboje je nejběžnější způsob lisování za tepla. Další možností je současné ochlazení čepu a ohřev náboje. Tato metoda lisování se používá zejména pro velké součásti a spoj má cca 1,5krát vyšší únosnost než u lisování za studena. Další výhodou lisování za tepla je ta, že stykové plochy součástí můžou mít větší drsnost. Naopak nevýhodou je, že v kontaktu spoje vzniká velký tlak. Nalisované součásti se chovají jako jeden celek. Tím pádem vzniká mezi hřídelem a nábojem vrubový účinek, který je náchylný k únavovým lomům. Vrubový účinek se dá zmenšit různými konstrukčními úpravami.



Obr. 2.8- Možné způsoby lisování za tepla [11]

2.5 Jednouúčelové stroje

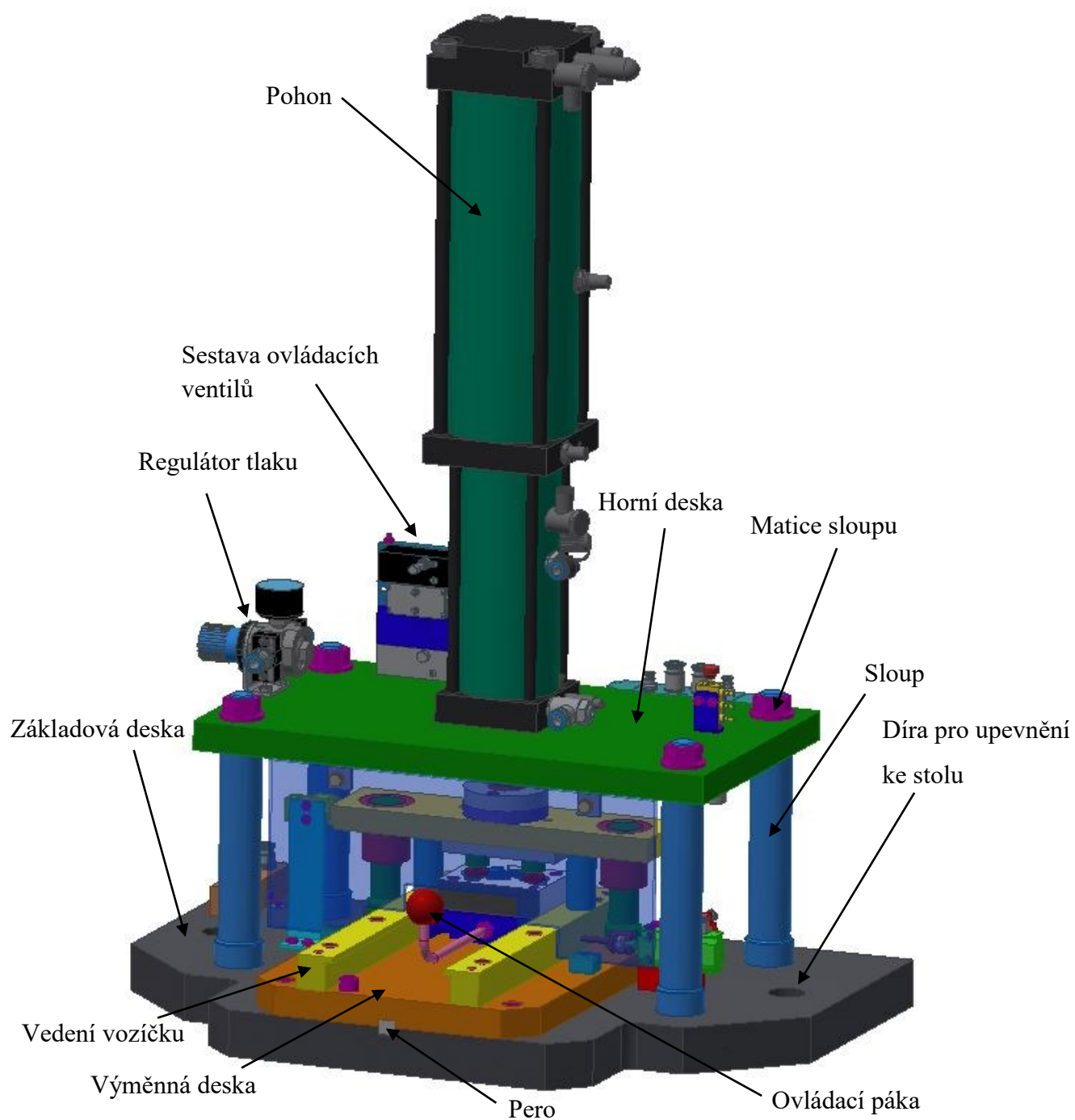
Zaměřují se na provádění jedné určité operace na konkrétním dílu nebo skupině dílů tak, aby byl úkon proveden v co nejkratší době a v co možná nejlepší kvalitě. Mohou být plně automatické nebo s obsluhou. Taktéž mohou být zařazeny do výrobní linky.



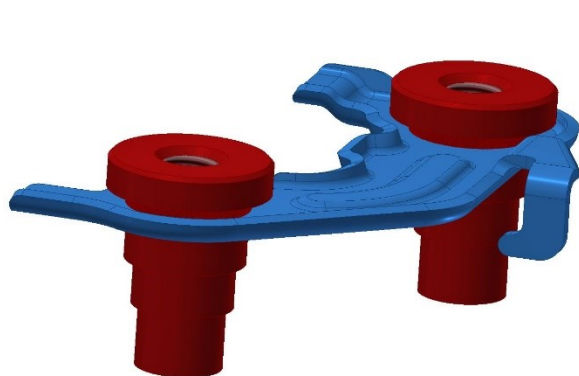
Obr. 2.9- Jednouúčelový stroj [12]

3 Návrh a konstrukce zařízení pro lisování malých součástí do polotovaru z plechu

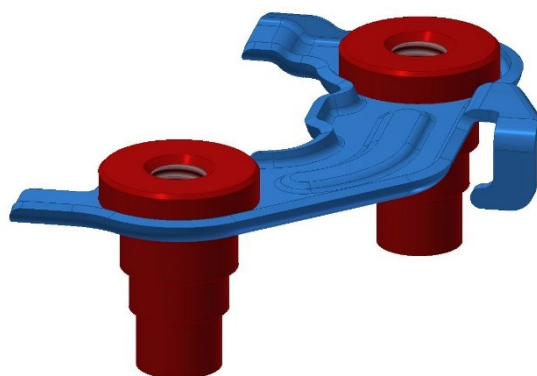
Mým úkolem je navrhnout jednoúčelový stroj pro nalisování dvou pouzder do výlisku z plechu. Celý stroj bude poháněn pneumaticko-hydraulickým pohonem. Tento pohon jsem zvolil z důvodu vysoké lisovací síly a kompaktních rozměrů. Válec je připevněn k horní desce stroje pomocí šesti šroubů. Celá horní část je spojena se základovou deskou pomocí 4 sloupů, které jsou v horní desce připevněny maticemi a v dolní jsou spojeny díky šroubům. Dále jsou v základové desce vyvrtány 2 díry pro šrouby. Ty slouží k upevnění zařízení ke stolu. Výměnná deska je k desce základní přidělena pomocí 4 šroubů a její poloha je v jedné ose určena pomocí 2 per a drážky v základní desce. Další osu zajišťuje doraz. Všechny prvky, které obsahuje výměnná deska, jsem se snažil vymyslet tak, aby se při podobné operaci, například lisování stejných pouzder do jiného výlisku, daly lehce vyměnit. Na kalené výměnné desce je pomocí 2 kolíků a 3 šroubů přichyceno vedení vozíčku. Vedení musí být broušeno a je taktéž kalené z důvodu menšího opotřebení. Ve vedení jsou zašroubovány dorazy. Tyto dorazy slouží k ochraně stroje. Kdyby obsluha nevložit do základního lůžka výlisek s pouzdry, ale přesto lis spustila. Tak dojde k poškození jak zakladače, tak razníčků, které nalisují samotná pouzdra. Další důležitou součástí je vozíček. Pomocí ovládací páky obsluha pohybuje vozíčkem z pracovní polohy do polohy výměnné a naopak. Na vozíčku je ukotvena díky 2 šroubům a 2 kolíkům základní deska. Je to součást, do které obsluha vkládá polotovary. Dalšími připojenými částmi k výměnné desce jsou vodící kolíky. V nich jsou ze spodu vytvořeny závitové díry. Pomocí šroubu, který vede skrz výměnnou desku, jsou k ní přichyceny. Ty slouží společně s vodícími pouzdry jako vedení celého lisu. Vodicí pouzdra jsou nalisována v tlačné desce. Ta je spojena přes jednoduchý upínací systém se samotným válcem. Na něm je zhotoven závit M22. Přímě na válcí je našroubována stopka. Při nalisování ložisek se stopka opře o kalenou podložku a ta přenáší sílu na pohyblivou desku. Při návratu válce zajišťuje zvednutí celé pohyblivé části zvedací kotouč. Ten je na stopku nasunut. Má vůli ve všech směrech pro jednodušší nasunutí. Přesné vedení zajišťuje válec. S podložkou je kotouč spojen pomocí 3 zapuštěných šroubů. Horní přitlačná deska je připojena k desce pohyblivé pomocí 2 šroubů s válcovou hlavou a 2 kolíků. V ní jsou pak nalisovány již samotné razníčky, které nalisují pouzdra do plechového výlisku. Vzduch je přiváděn do rozvodové kostky, která ho již dále rozvádí dle potřeby zařízení. Další součástí sestavy jsou vzduchové prvky. Ty jsou všechny nakupované od firmy Festo.



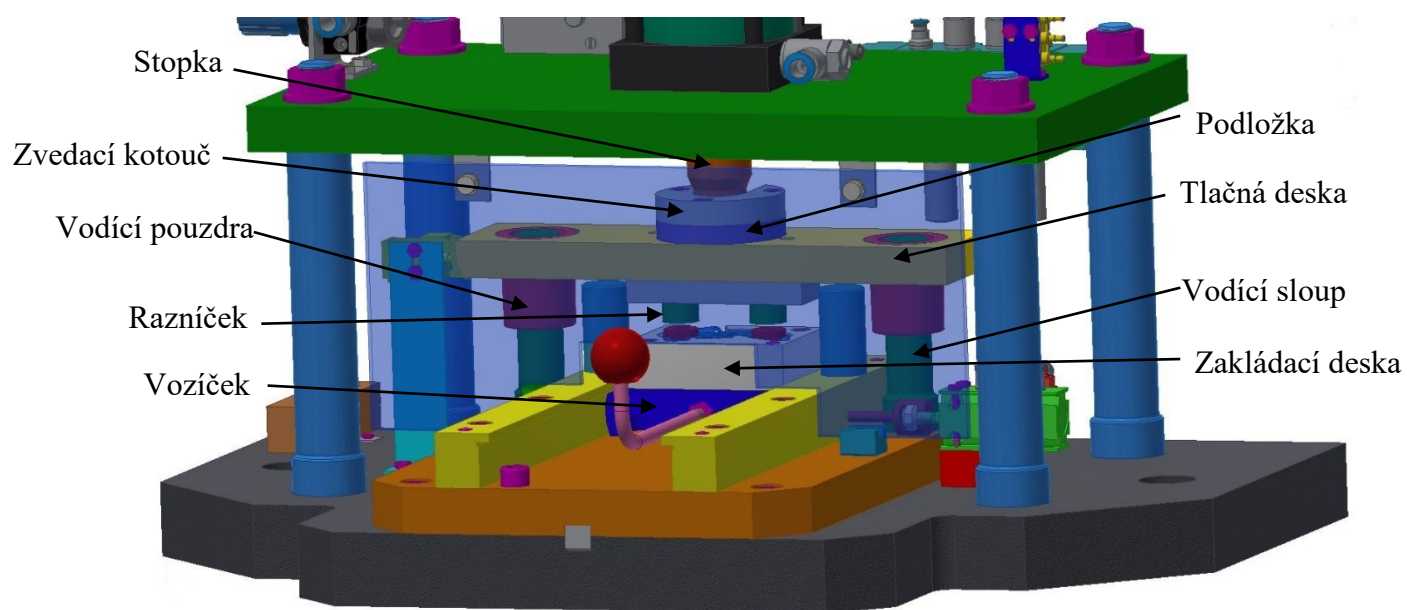
Obr. 3.1 - 3D schéma zařízení



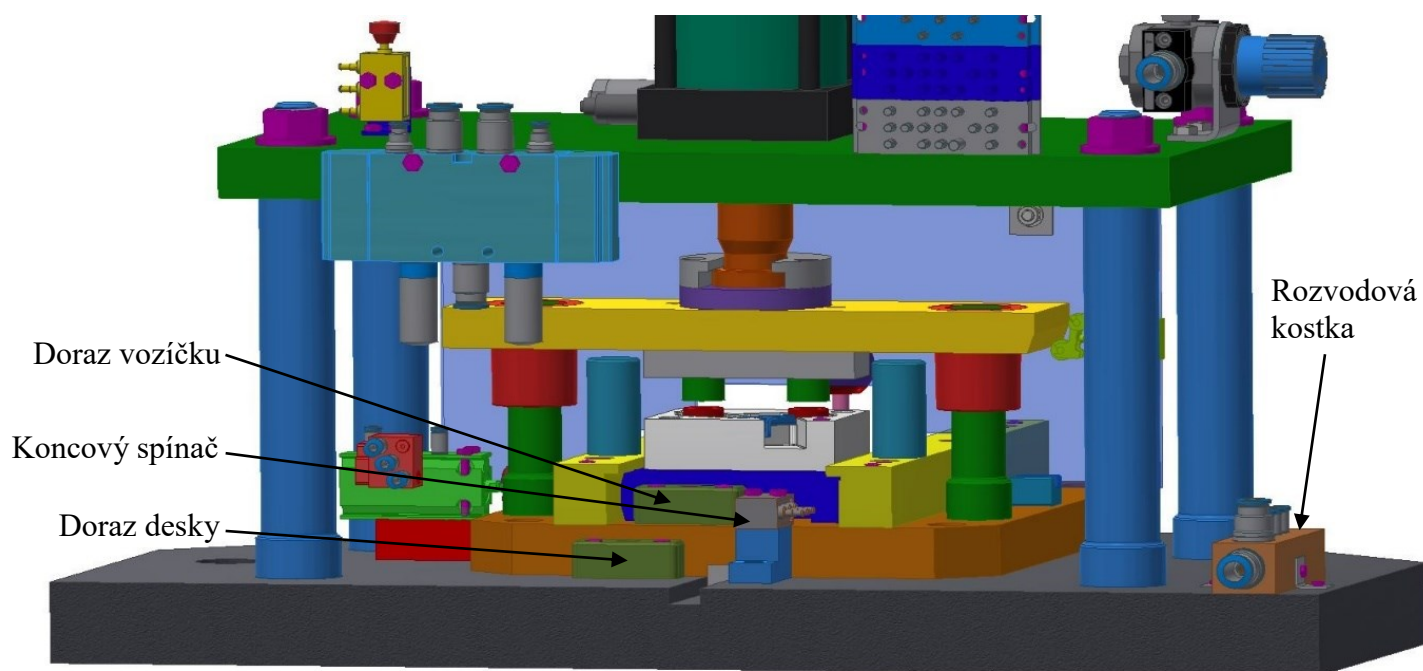
Obr. 3.2 - Výlisek s nezalisovanými pouzdry



Obr. 3.3 - Výlisek se zalisovanými pouzdry



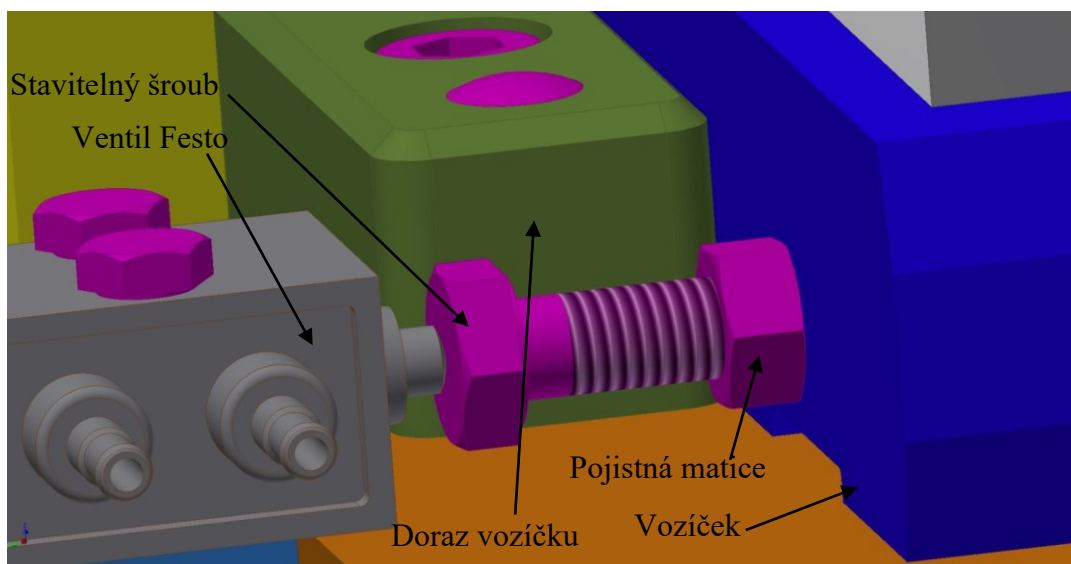
Obr. 3.4 - Detail pracovního prostoru zařízení



Obr. 3.5 - Zadní pohled na zařízení

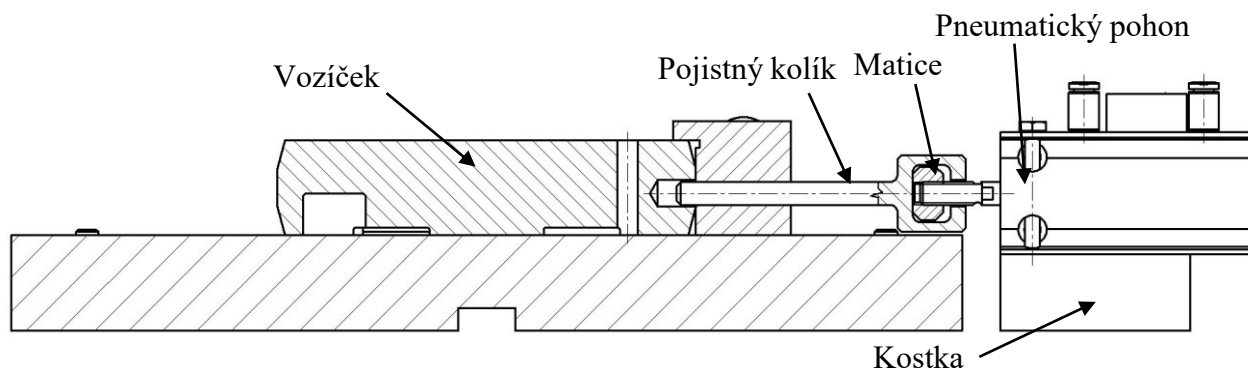
3.1 Popis funkce

Jako první se musí vytáhnout voziček z pracovní pozice do pozice, ve které se může bezpečně vyndat zhotovený výrobek a vložit polotovary. Po správném vložení výlisku a pouzder se voziček přesune do polohy pracovní, kdy voziček dojede až na doraz a sepne se ventil. Ten je umístěn na jednoduché kostce a je přišroubován 2 šrouby. Kostka je spojena se základní deskou 2 šrouby s válcovou hlavou. Při této pozici je obsluha již bez práce a může se věnovat jiné činnosti. Sepnutí ventilu zajišťuje šroub. Ten musí být ve správné poloze. Tato poloha se určí na začátku výrobního procesu lisu. Při nesprávné funkci se může šroub nastavit tak, aby sepnutí ventilu probíhalo správně. Šroub je jednoduše pojištěn maticí.



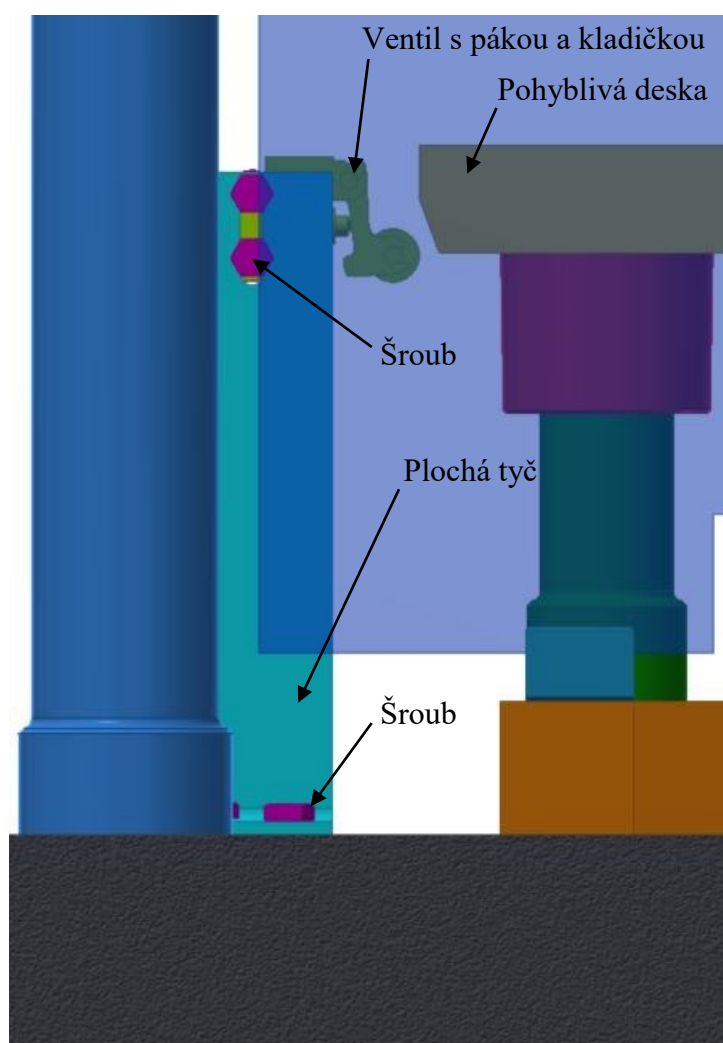
Obr. 3.6 - Schéma zajištění vozičku

Po sepnutí ventilu se automaticky spustí pneumatický pohon. Ten vysune pístnici a pomocí matice a pojistného kolíku se zajistí poloha vozičku pro celou dobu operace lisování. Celý pohon je umístěn na jednoduché kostce, ke které je připevněn 2 šrouby. Kostka je k základové desce přidělána 2 šrouby, které jsou v ní zapuštěny.



Obr. 3.7 - Schéma zajištění vozičku

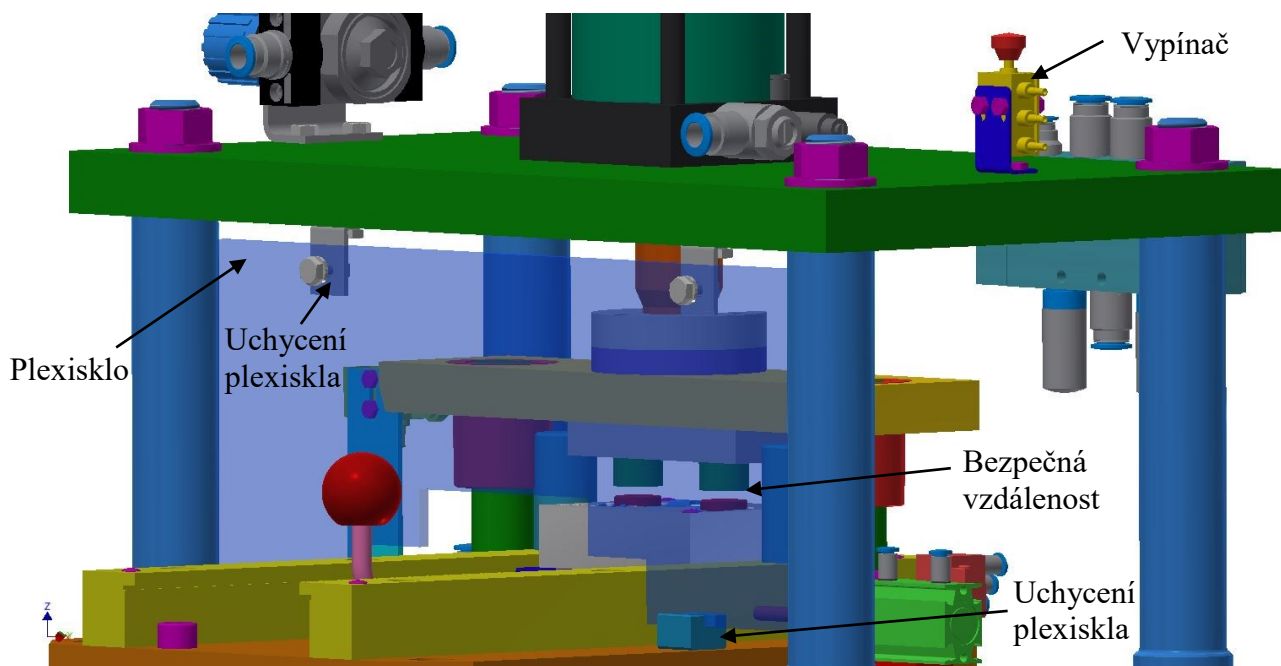
Po zajištění přesné pracovní polohy se spustí hlavní lisovací válec. Ten natlačí pouzdra do plechového výlisku. Ukončení cyklu a návrat válce zajišťuje ventil s pákou a kladičkou. Ten je umístěn na ohnuté ploché tyči. K základové desce je profil připevněn pomocí 2 šroubů. S ventilem je spojen díky 2 šroubům a díky vytvořené drážce je také výškově stavitelný. V dolní lisovací poloze, kdy jsou již pouzdra nalisována, se díky pohyblivé desce sepne ventil a ten zajistí návrat válce TOX do původní polohy. Následně se vysune pojistný kolík z vozíčku a obsluha ho může bez problémů vytáhnout. Poté vyndá zhotovený kus a vloží polotovary. Tento cyklus se opakuje do té doby, než se vytvoří požadovaný počet výrobků.



Obr. 3.8 - Řešení ukončení cyklu

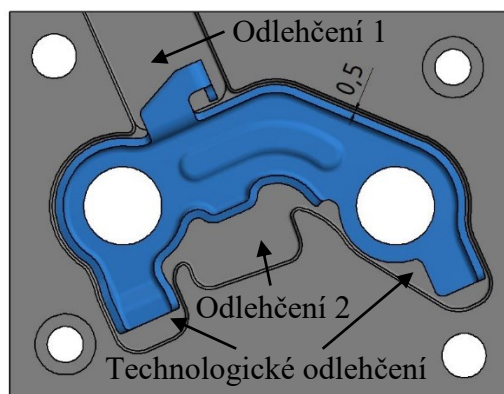
3.2 Bezpečnostní prvky

Bezpečnostní prvky patří k nejdůležitějším částem celého stroje. Zajišťují bezpečnost obsluhy. Jde o řadu opatření pro zamezení kontaktu nebo kolize stroje během jeho pohybu s jakoukoliv částí lidského těla. Problematika zajištění bezpečnosti strojů není vůbec jednoduchá. Je důležité se jí zabývat již na začátku návrhu. V mém návrhu se vyskytuje hned několik komponentů, které zajišťují bezpečnost obsluhy a okolí. Prvním z nich je plexisklo. To odděluje pracovní prostor od polohy, ve které obsluha vyměňuje kus. Plexisklo je umístěno na 2 kostkách. V těch je vyvrtána díra a vyfrézována drážka, do které se pak plexisklo vloží. K výměnné desce je každá kostka připevněna zapuštěným šroubem. Nahoře je plexisklo přichyceno pomocí ohnutého plechu. Ten je přišroubován jak k plexisklu, tak i k horní desce. Dalším prvkem je nouzový vypínač. Ten je umístěn na horní desce. Použit se může pouze v případě hrozícího nebezpečí nebo materiálové újmy. Vypínač je přišroubován k horní desce 2 šrouby. Dalším bezpečnostním prvkem je nízká vzdálenost mezi razníčky a natlačovanými pouzdry. Vzdálenost je pouze 4 milimetry. Díky tomu obsluha nemůže vložit žádnou část těla mezi pouzdra a razníčky.

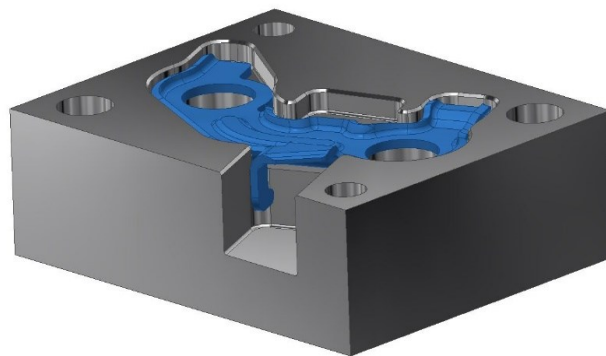


Obr. 3.9 - Zobrazení bezpečnostních prvků

3.3 Umístění výlisku v základacím lůžku



Obr. 3.10 - umístění výlisku s popisem

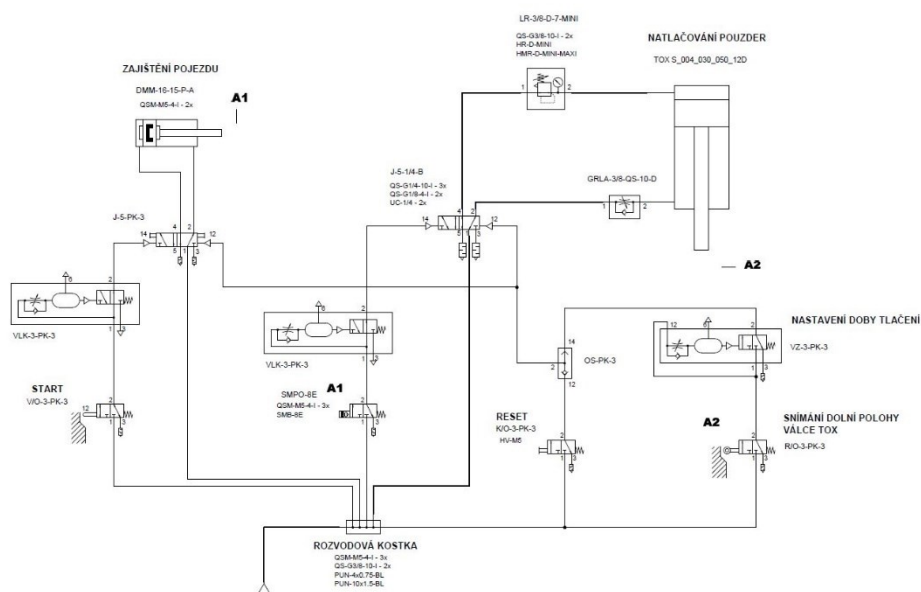


Obr. 3.11 - 3D pohled umístění

Na obrázcích 3.10 a 3.11 je vidět umístění výlisku v základacím lůžku. Mezi výliskem a stěnou zakladače je vůle 0,5 mm z důvodu snadného vložení lisovaného dílu. Odlehčení 1 je zde ze dvou důvodů. Prvním z nich je lepší vyndání součástí ze základacího lůžka, dalším je prostor pro výstupek na lisované součásti. Odlehčení 2 slouží k pohodlnějšímu vložení a vyjmutí výlisku z lůžka. Technologická odlehčení jsou zde z důvodu zlevnění a zjednodušení výroby. Snažil jsem se použít co největší přechodné rádiusy.

3.4 Pneumatické schéma

Pneumatické schéma bylo vytvořeno programem FluidDraw. Ukazuje zapojení pneumatických prvků, které jsou na zařízení použity.



Obr. 3.12 - Pneumatické schéma

4 Návrh a kontrola vybraných částí

4.1 Volba pohonu

Stroj bude poháněn pneumaticko-hydraulickým pohonem TOX®-Powerpackage. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Přibližný výpočet lisovací síly:

$$F_{max} = \frac{\pi}{2} \cdot \Delta d_{max} \cdot l \cdot f \cdot E \cdot \left(1 - \frac{d_d^2}{d_h^2}\right) \cdot n = \frac{\pi}{2} \cdot 0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,15 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \left(1 - \frac{14^2}{14,5^2}\right) \cdot 2 =$$
$$= 6036,5 \text{ N} \quad (1)$$

Tab. 4.1 – Hodnoty pro výpočet lisovací síly

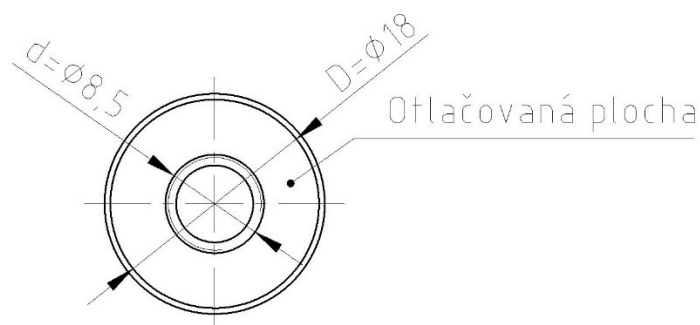
Veličina	Hodnota
Minimální průměr díry ve výlisku	$d_h = 14,4 \pm 0,1 \Rightarrow 14,5 \text{ mm}$
Maximální průměr pouzdra	$d_d = 14,1 - 0,1 \Rightarrow 14 \text{ mm}$
Maximální rozdíl průměrů pouzdra a díry výlisku	$\Delta d_{max} = d_h - d_d = 14,5 - 14 = 0,5 \text{ mm}$
Vzdálenost na pouzdře, která se zalisuje	$l = 1,8 \text{ mm}$
Koeficient tření dle [2]	$f = 0,15$
Modul pružnosti v tahu	$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Tab. 4.2 – Základní parametry pohonu

Označení	Celkový zdvih [mm]	Silový zdvih [mm]	Maximální lisovací síla [kN]	Síla při náběhu válce [N]	Hmotnost [kg]
S 4.30.50.12 D	50	12	38,5	184	22

Pohon je volený s vyšší lisovací silou, než vyšel v tabulce 4.2. Hlavním důvodem je zvýšení univerzálnosti lisu. Dalším důvodem tak vysoké lisovací síly je dotlačení pouzder až na dosedací plochu výlisku, která by mohla být problémová.

4.2 Kontrola na otláčení pouzdra



Obr 4.1 - Horní pohled na pouzdro

4.2.1 Určení maximálního a dovoleného otláčení

$$p = \frac{\frac{F_{lis}}{2}}{S} = \frac{\frac{F_{lis}}{2}}{\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}} = \frac{\frac{38\,500}{2}}{\frac{\pi \cdot (18^2 - 8,5^2)}{4}} = 97,4 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$p_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{215}{1,3} = 165,4 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$p \leq p_{dov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3 Kontrola ovládací páky

$$F_t = g \cdot f \cdot m = 9,81 \cdot 0,15 \cdot 2,831 = 4,2 \text{ N}$$

kde volím koeficient $f = 0,15$ dle [2]

Obsluha musí překonat sílu 4,2 N, aby pohnula vozíčkem.

Při trhnutí nebo prudkém zatáhnutí za páku, kdy už je opřena o doraz, zvyšují sílu pro výpočet $F_{výp} = 90 \text{ N}$.

Tab. 4.3 - Hmotnost komponent

Prvek	Hmotnost[kg]
Vozíček	1,592
Kostka	1,022
Výlisek	0,019
Pouzdra	0,037
Kolíky-8	0,032
Šrouby-M6	0,018
Tvarovaná rukojeť	0,02
Ohnutá kulatina	0,074
Matice	0,005
Šroub M6-30	0,01
Matice M6	0,002
Hmotnost m	2,831

4.3.1 Určení ohybového, tahového a redukovaného napětí

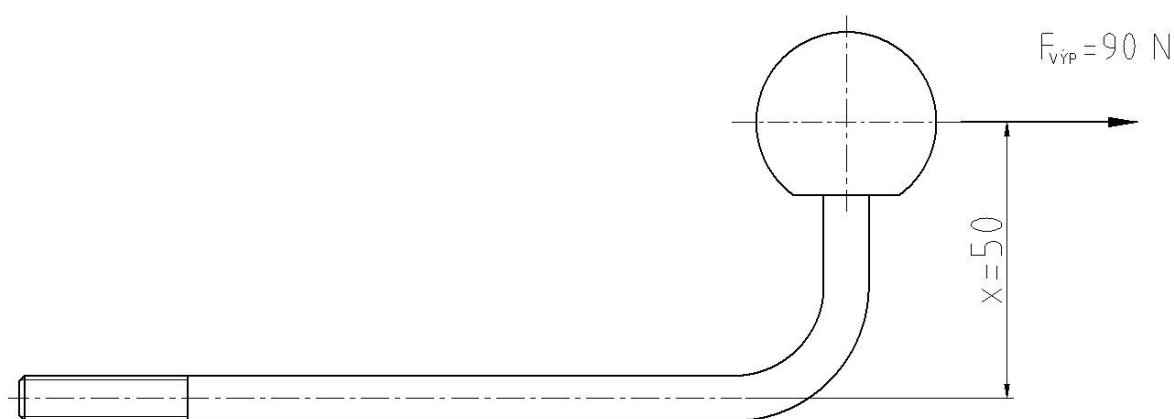
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_{výp} \cdot x}{\frac{\pi}{32} d_3^3} = \frac{90 \cdot 50}{\frac{\pi}{32} \cdot 6,466^3} = 169,55 \text{ MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F_{výp}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{90}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}} = 2,74 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_t^2} = \sqrt{169,6^2 + 2,7^2} = 169,57 \text{ MPa} \quad (6)$$

4.3.2 Určení bezpečnosti

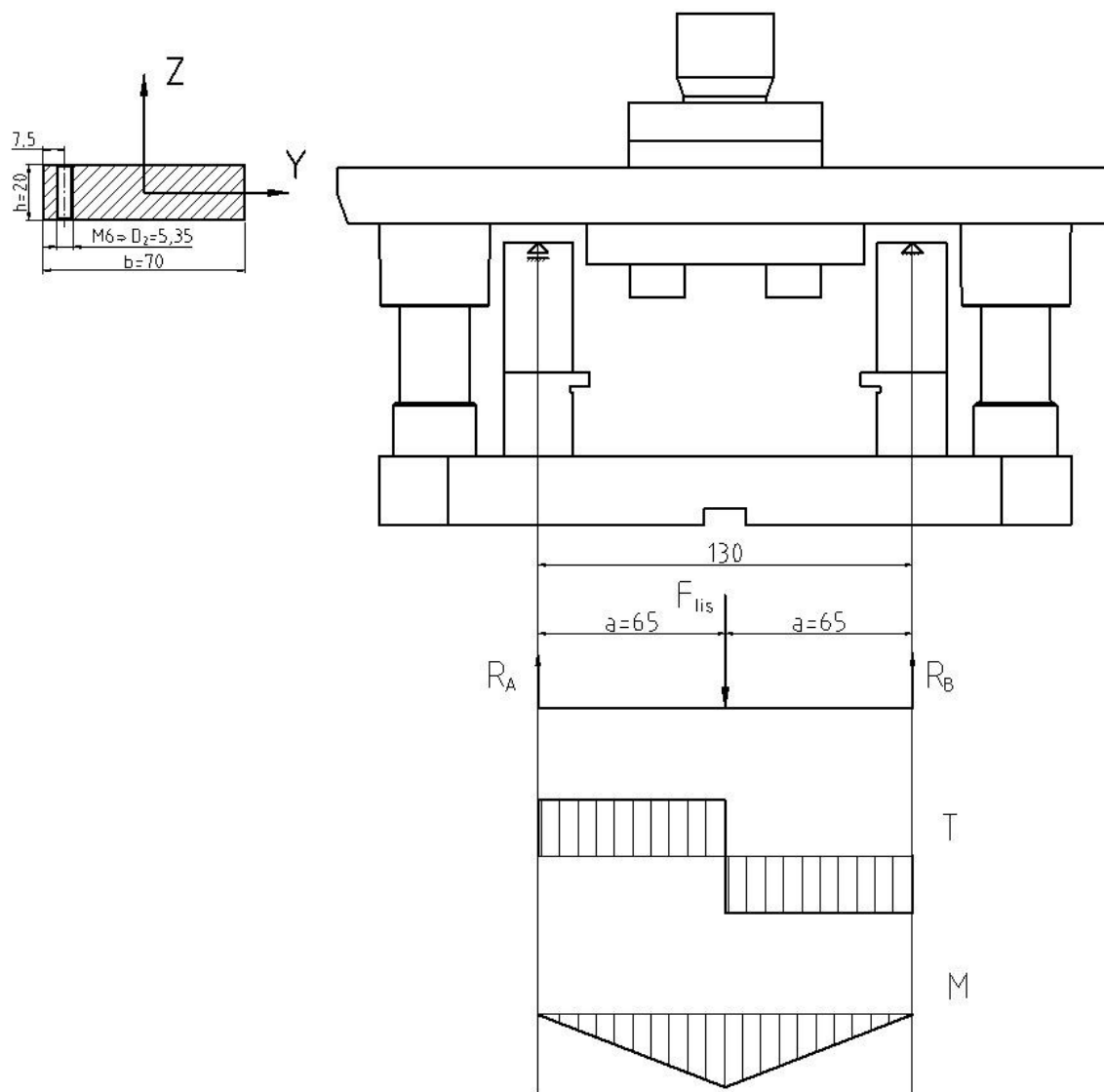
$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{270}{169,57} = 1,59 \geq 1,5 \Rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (7)$$



Obr 4.2 - Schéma ovládací páky

4.4 Kontrola razníkové desky

Deska je namáhána na ohyb lisovací silou F_{lis} . Materiál desky je ocel 19 312. Tato ocel má mez kluzu $R_e = 2200 \text{ MPa}$ dle [19].



Obr. 4.3 – Schéma a průběh sil a momentů na razníkové desce

4.4.1 Výpočet reakcí

$$R_A = R_B = \frac{F_{lis}}{2} = \frac{38\,500}{2} = 19\,250\,N \quad (8)$$

4.4.2 Určení ohybového napětí v maximálním ohybovém momentu

$$I_y = I_{y1} - I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 - \frac{1}{12} \cdot D_2 \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 70 \cdot 20^3 - \frac{1}{12} \cdot 5,35 \cdot 20^3 = 43\,100\,mm^4 \quad (9)$$

$$W_o = \frac{I_y}{\frac{h}{2}} = \frac{43\,100}{\frac{20}{2}} = 4\,310\,mm^3 \quad (10)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o \max}{W_o} = \frac{R_A \cdot a}{W_o} = \frac{19\,250 \cdot 65}{4\,310} = 290,3\,MPa \quad (11)$$

4.4.3 Určení dovoleného ohybového napětí

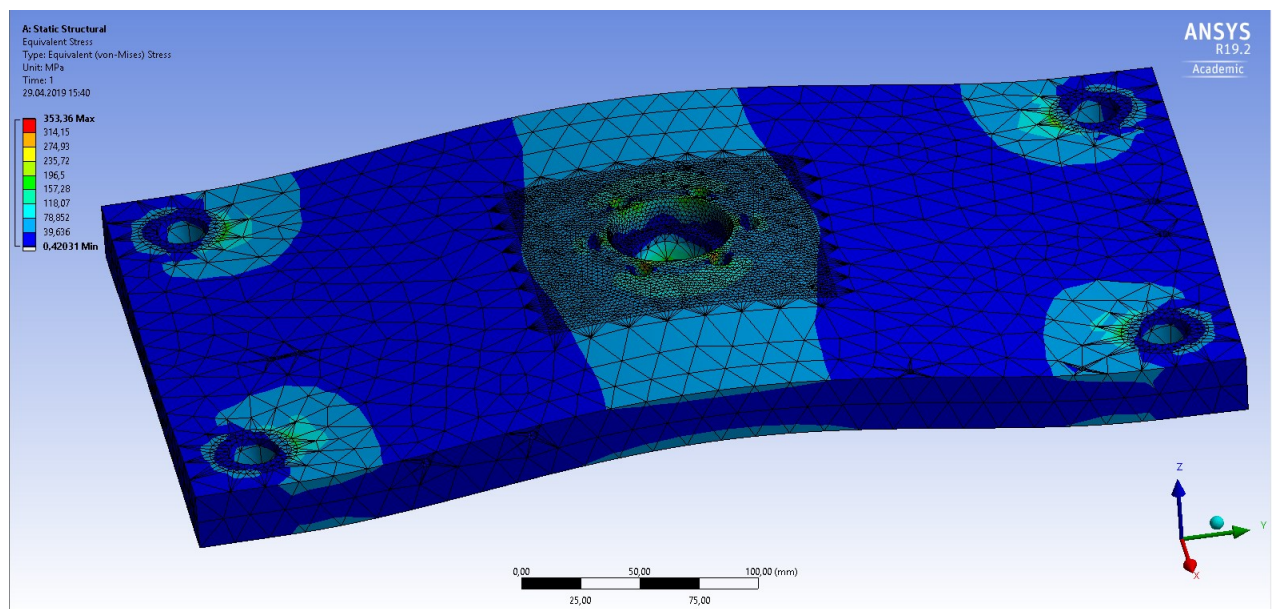
$$\sigma_{o\,dov} = \frac{Re}{k} = \frac{2200}{2} = 1100\,MPa \quad (12)$$

kde volím bezpečnost $k=2$

$$\sigma_o \leq \sigma_{dov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.5 Pevnostní výpočet horní desky

Pevnostní výpočet byl proveden pomocí metody konečných prvků. Model byl vytvořen v programu Inventor od firmy Autodesk a poté převeden do výpočtového programu Ansys. Deska je vyrobená z materiálu 12 050, který má mez kluzu $R_e = 430\,MPa$ dle [20].

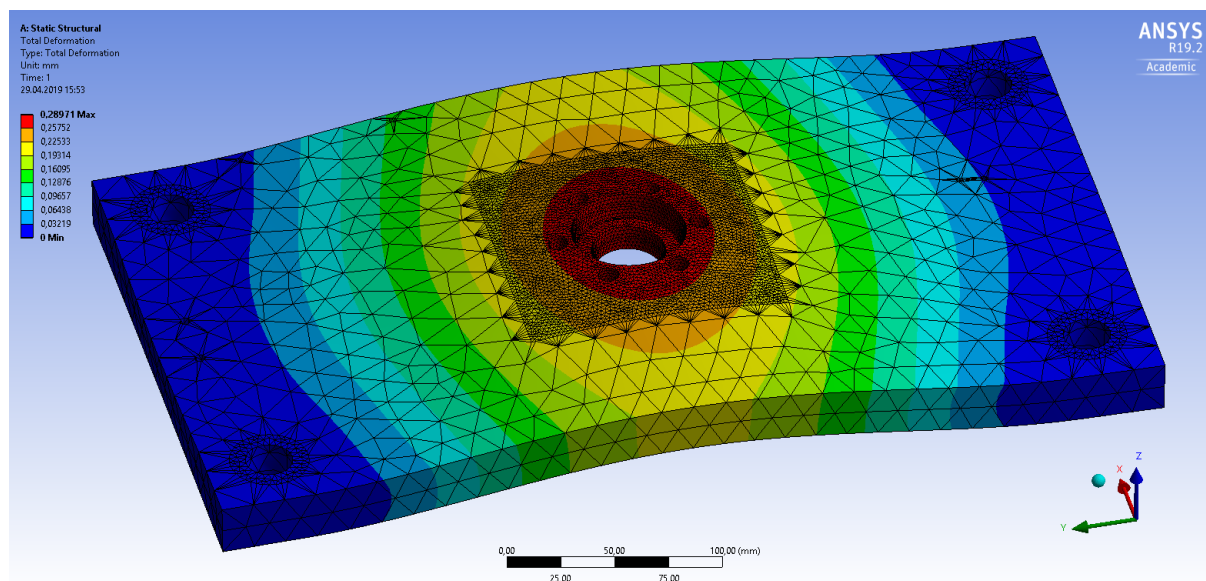


Obr. 4.4 - průběh napětí

Jak lze vidět na obrázku, maximální napětí je v okolí děr pro šrouby. Hodnota maximálního napětí činí $\sigma_{\max} = 353,36\,MPa$. Výsledná bezpečnost vůči mezi kluzu materiálu desky pak je:

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{430}{363,36} = 1,2 \quad (13)$$

Zatěžující síla byla volena jako maximální síla pohonu. K tak vysoké síle při běžném provozu v zásadě nemůže dojít, a proto výsledná bezpečnost, která vyšla relativně nízká, se považuje za vyhovující.



Obr. 4.5 - průhyb desky

Maximální průhyb desky je pak 0,289 mm a nachází se ve středu desky přímo pod pohonem.

4.6 Dynamicky namáhaný šroub

Celková provozní síla je vyvolána maximální lisovací silou válce $F_{lis} = 38\,500\text{ N}$.

Výpočet síly na jeden šroub:

$$F_{P1} = \frac{F_{lis}}{i} = \frac{38\,500}{4} = 9\,625\text{ N} \quad (14)$$

4.6.1 Předběžný návrh šroubu

Tab. 4.4 - Materiál šroubu a jeho vlastnosti

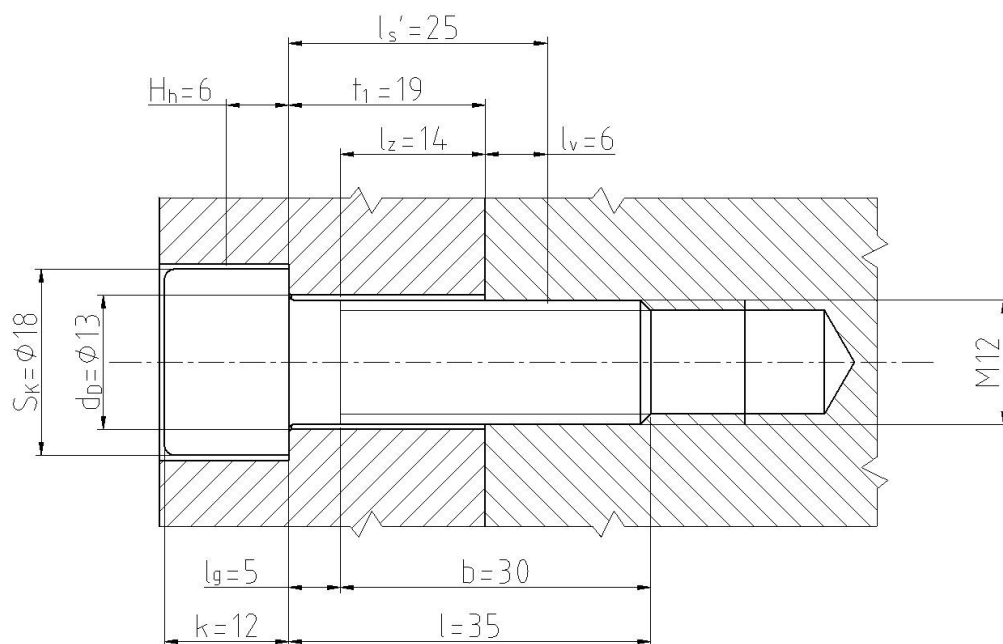
Třída pevnosti	Mez pevnosti R_m	Mez kluzu R_e
10.9	1000 MPa	900 MPa

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt}$$

$$\frac{F_{P1}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} \leq \frac{R_e}{k_s} \Rightarrow d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{P1} \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9625 \cdot 3}{\pi \cdot 900}} = 6,39\text{ mm} \quad (15)$$

Volím šroub M12x1,75

4.6.2 Výpočet tuhosti v tahu šroubu



Obr. 4.6 - Schéma šroubu s rozměry pro výpočet

Účinná svěrná délka:

$$l'_s = t_1 + \frac{d}{2} = 19 + \frac{12}{2} = 25 \text{ mm} \quad (16)$$

Délka válcové části dříku bez závitu:

$$l_g = l - b = 35 - 30 = 5 \text{ mm} \quad (17)$$

Výpočtová výška hlavy:

$$H_h = \frac{k}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ mm} \quad (18)$$

Nezašroubovaná část šroubu se závitem:

$$l_z = t_1 - l_g = 19 - 5 = 14 \text{ mm} \quad (19)$$

Účinná zašroubovaná část šroubu:

$$l_v = l'_s - t_1 = 25 - 19 = 6 \text{ mm} \quad (20)$$

Výpočet poddajnosti šroubu p_s :

$$p_s = \frac{1}{E_s} \cdot \left[\frac{H_h + l_g}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} + \frac{l_z}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} + \frac{l_v}{\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} \right] = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \left[\frac{6+5}{\pi \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2} + \frac{14}{\pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2} + \frac{6}{\pi \cdot \left(\frac{10,863}{2}\right)^2} \right] =$$

$$= 1,64577 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \cdot \text{N}^{-1}$$
(21)

kde $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Tuhost šroubu:

$$c_s = \frac{1}{p_s} = \frac{1}{1,64577 \cdot 10^{-6}} = 607\,618,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$
(22)

Výpočet tuhosti v tlaku přírub

$$S_{př} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{RED}^2 - d_D^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (30,5^2 - 13^2) = 597,9 \text{ mm}^2$$
(23)

Redukovaný průměr trubky:

$$d_{RED} = s_K + \frac{l'_s}{2} \cdot \tan \alpha = 18 + \frac{25}{2} \cdot \tan 45^\circ = 30,5 \text{ mm}$$
(24)

úhel volím dle Bacha $\alpha=45^\circ$

$$c_{PŘ} = \frac{E_{PŘ} \cdot S_{PŘ}}{I_{PŘ}} = \frac{210\,000 \cdot 597,9}{25} = 5\,022\,228,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$
(25)

kde $E_{př} = 210\,000 \text{ MPa}$

Poměr tuhostí

$$\frac{c_{PŘ}}{c_s} = \frac{5\,022\,228,6}{607\,618,2} = 8,27$$
(26)

Doporučená podmínka $\frac{c_{PŘ}}{c_s} \geq 7$ dle [4] vyhovuje. Poměr se snažíme zajistit co největší z důvodu zmenšení amplitudy namáhání šroubu.

4.6.3 Síly ve šroubovém spoji

Součinitel těsnosti volím $\psi = 0,9$ dle [x]

$$F_{PŘMIN} = \psi \cdot F_{P1} = 0,9 \cdot 9625 = 8662,5 \text{ N}$$
(27)

Dolní velikost dynamické tahové síly:

$$F_0 = F_{sn} = F_{PŘMIN} + \Delta F_{PŘ} = F_{PŘMIN} + F_{P1} \cdot \frac{c_{PŘ}}{c_{PŘ} + c_s} = 8662,5 + 9625 \cdot \frac{5\,022\,228,6}{5\,022\,228,6 + 607\,618,2} = 17\,248,7 \text{ N}$$
(28)

Amplituda dynamické tahové síly:

$$F_{Sa} = \frac{\Delta F_s}{2} = \frac{F_{P1} \cdot \frac{c_s}{c_s + c_{PŘ}}}{2} = \frac{9625 \cdot \frac{607\,618,2}{607\,618,2 + 5\,022\,228,6}}{2} = 519,4 \text{ N}$$
(29)

Střední velikost dynamické tahové síly:

$$F_{Sm} = F_{Sn} + F_{Sa} = 17\,248,7 + 519,4 = 17\,768,1\,N \quad (30)$$

Horní velikost dynamické tahové síly:

$$F_{Sh} = F_{Sn} + 2 \cdot F_{Sa} = 17\,248,7 + 2 \cdot 519,4 = 18\,287,5\,N \quad (31)$$

Výpočet utahovacího momentu

$$M_u = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_s}{2} = 17\,248,7 \cdot \operatorname{tg}(2,94 + 16,1) \cdot \frac{10,863}{2} + 17\,248,7 \cdot 0,15 \cdot 15,5 = 72\,430,8\,Nmm \quad (32)$$

Střední průměr stykové plochy:

$$D_s = \frac{S_K + d_D}{2} = \frac{18 + 13}{2} = 15,5\,mm \quad (33)$$

Úhel stoupání závitu:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863} = 2,94^\circ \quad (34)$$

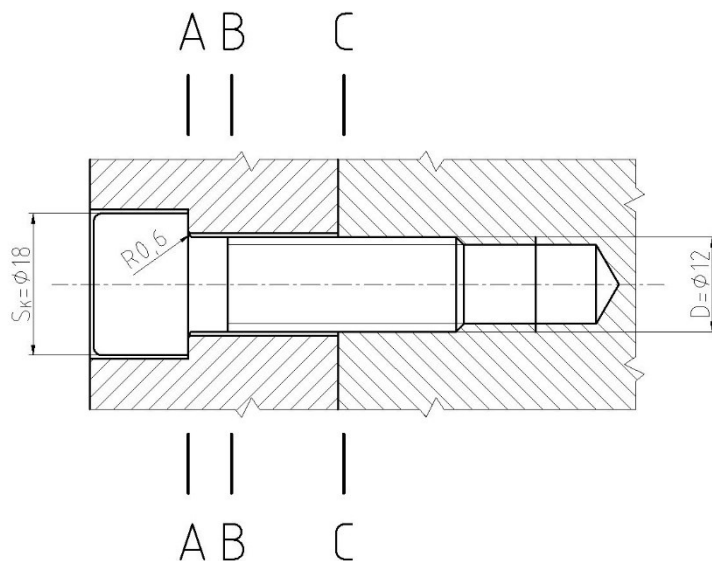
Třecí redukovaný úhel:

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_Z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{arctg} \frac{0,25}{\cos \frac{60}{2}} = 16,1^\circ \quad (35)$$

Výpočet statické síly F_Z

$$F_Z = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') = 17\,248,7 \cdot \operatorname{tg}(2,94 + 16,1) = 5951,9\,N \quad (36)$$

4.6.4 Určení kritických míst

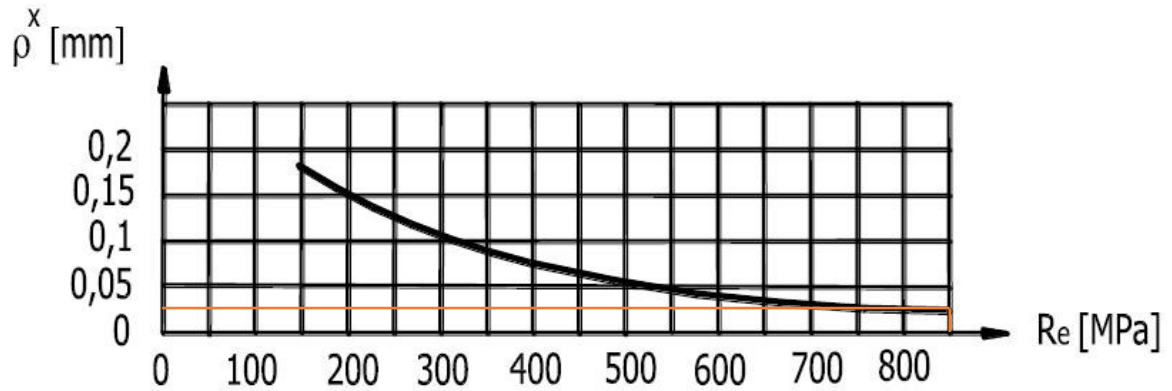


Obr. 4.7 – Znázornění konstrukčních vrubů

Kritický průřez A-A: Zaoblený přechod mezi hlavou a dříkem šroubu:

Součinitel pevnostní hypotézy

$$s^x = \frac{2 - \nu}{1 - \nu} = \frac{2 - 0,3}{1 - 0,3} = 2,43 \quad (37)$$



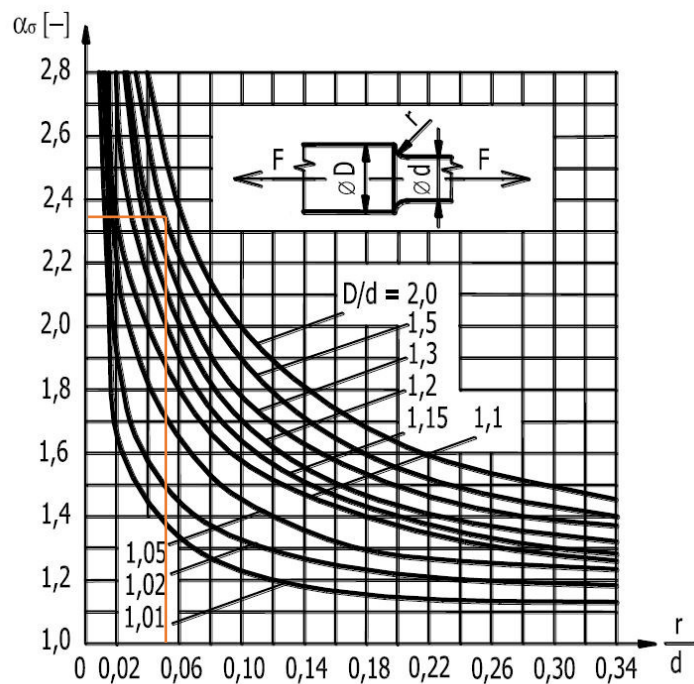
Obr. 4.8 - Graf závislosti ρ^x – Re [4]

Fiktivní poloměr vrubu:

$$R_{1F} = R_1 + s^x \cdot \rho^x = 0,6 + 2,43 \cdot 0,025 = 1,21 \quad (38)$$

Tab. 4.5 - Hodnoty pro odečtení z obrázku 4.9

$\frac{S_k}{D} = \frac{18}{12} = 1,5$
$\frac{R}{D} = \frac{0,6}{12} = 0,05$



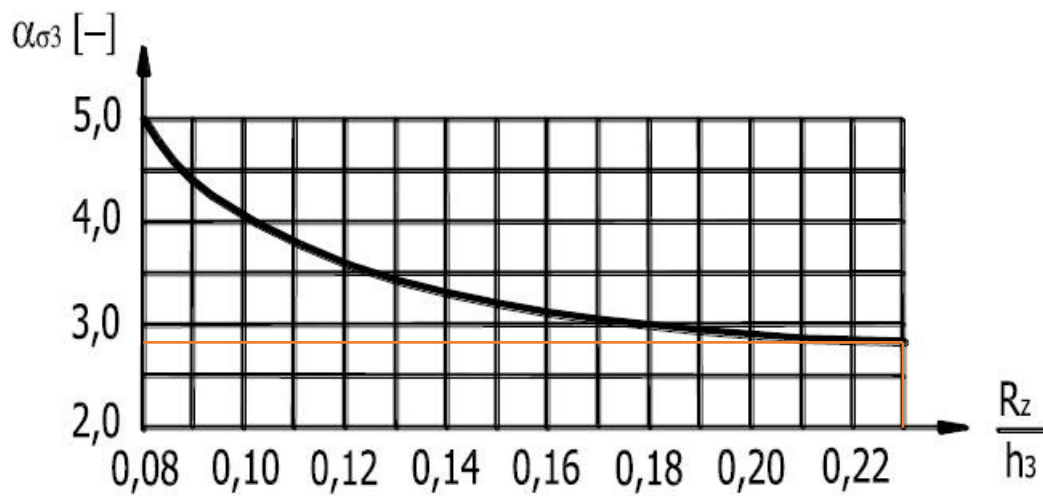
Obr. 4.9 - Graf součinitele koncentrace napětí a tahové namáhání [4]

$$\beta_{\sigma 1} = \alpha_{\sigma 1} \cdot \sqrt{\frac{R_1}{R_{1F}}} = 2,35 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{1,21}} = 1,66 \quad (39)$$

Kritický průřez B-B: Zaoblené dno prvního závitu

Tab. 4.6 - Hodnoty pro odečtení z obrázku 4.10

$R_Z = 0,144337561 \cdot P_h = 0,144337561 \cdot 1,75 = 0,253 \text{ mm}$	$\frac{R_Z}{h_3} = \frac{0,253}{1,0735} = 0,24$
$h_3 = \frac{d-d_3}{2} = \frac{12-9,853}{2} = 1,0735 \text{ mm}$	



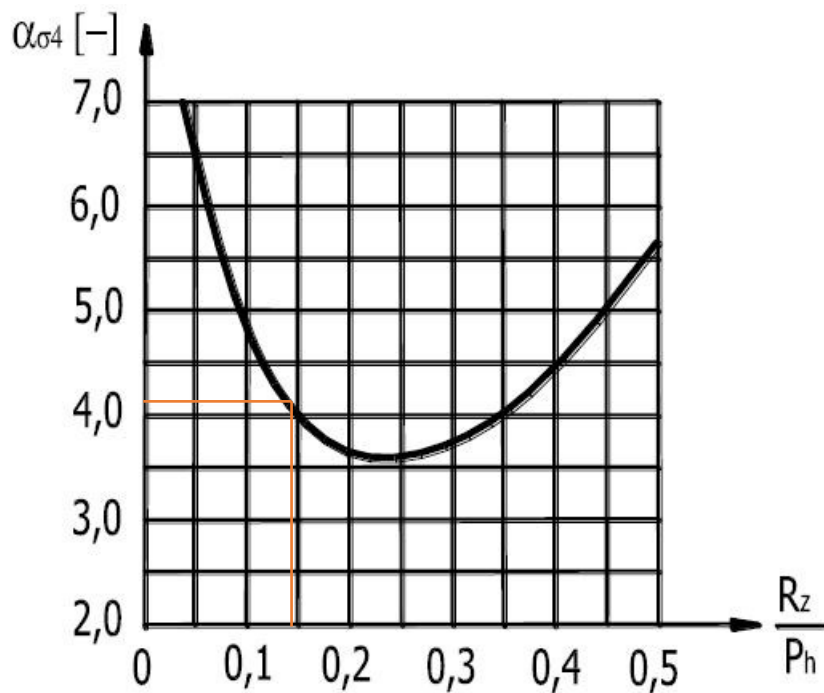
Obr. 4.10 - Graf součinitele koncentrace napětí pro zaoblené dno metrického závitu a tahového napětí [4]

$$R_{ZF} = R_Z + s^x \cdot \rho^x = 0,253 + 2,43 \cdot 0,25 = 0,86 \text{ mm} \quad (40)$$

$$\beta_{\sigma 3} = \alpha_{\sigma 3} \cdot \sqrt{\frac{R_Z}{R_{ZF}}} = 2,8 \cdot \sqrt{\frac{0,253}{0,86}} = 1,52 \quad (41)$$

Kritický průřez C-C Zaoblené dno prvního zašroubovaného závitu

$$\frac{R_Z}{P_h} = \frac{0,253}{1,75} = 0,14$$



Obr. 4.11 - Graf součinitele koncentrace napětí pro zaoblené dno metrického závitu v místě 1. závitu matice a tahové napětí [4]

$$\beta_{\sigma 4} = \alpha_{\sigma 4} \cdot \sqrt{\frac{R_Z}{R_{ZF}}} = 4,1 \cdot \sqrt{\frac{0,253}{0,86}} = 2,22 \quad (42)$$

4.6.5 Napětí v kritickém průřezu

Horní napětí dynamického tahu:

$$\sigma_{tSh} = \frac{F_{Sh}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{18\,287,5}{\pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2} = 239,8 \text{ MPa} \quad (43)$$

Střední napětí dynamického tahu:

$$\sigma_{tSm} = \frac{F_{Sm}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{17\,768,1}{\pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2} = 233 \text{ MPa} \quad (44)$$

Dolní napětí dynamického tahu:

$$\sigma_{tSn} = \sigma_0 = \frac{F_{Sn}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{17\,248,7}{\pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2} = 226,2 \text{ MPa} \quad (45)$$

Amplitudové napětí dynamického tahu:

$$\sigma_{tSa} = \frac{F_{Sa}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{622,5}{\pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2} = 6,8 \text{ MPa} \quad (46)$$

4.6.6 Určení statické bezpečnosti šroubu

Statické namáhání šroubu v krutu:

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} d_3^3} = \frac{5\,951,9 \cdot \frac{10,863}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 9,853^3} = 172,1 \text{ MPa} \quad (47)$$

Statická bezpečnost šroubu:

$$k_\tau = \frac{\tau_{Kt}}{\tau \cdot \alpha_\tau} = \frac{\frac{1}{2} R_e}{\tau \cdot 1} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 900}{172,1 \cdot 1} = 2,6 \quad (48)$$

kde $\alpha_\tau = 1$, pro statické namáhání šroubu

4.6.7 Výpočet dynamické bezpečnosti

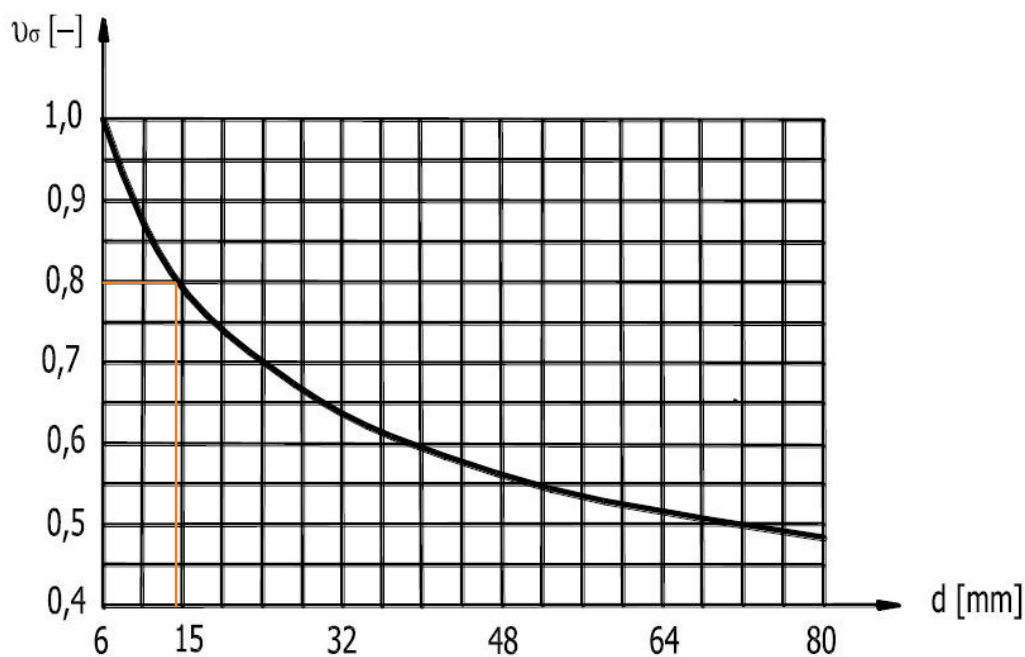
Výpočet meze únavy materiálu šroubu

$$\sigma_c \cong 0,41 \cdot R_m = 0,41 \cdot 1000 = 410 \text{ MPa} \quad (49)$$

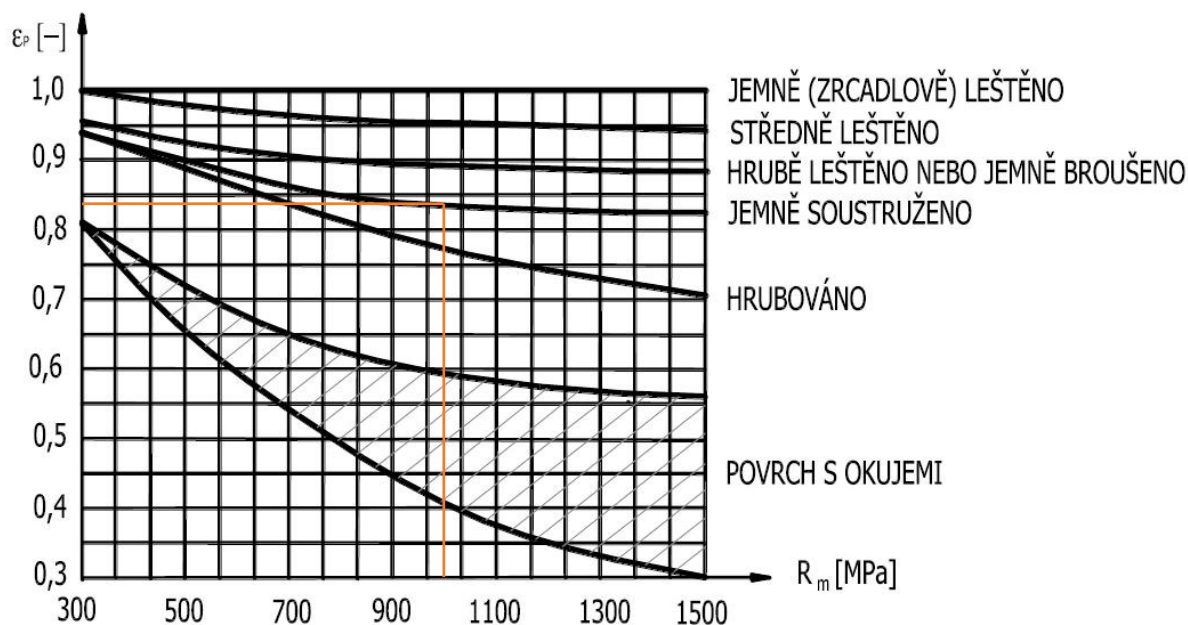
Výpočet součinitele sbíhavosti

$$\psi_\sigma \cong 0,02 + 0,2 \cdot R_m \cdot 10^{-4} = 0,02 + 2 \cdot 1000 \cdot 10^{-4} = 0,22 \quad (50)$$

$$\sigma_{hc} = \frac{2 \cdot \sigma_c}{1 + \psi_\sigma} = \frac{2 \cdot 410}{1 + 0,22} = 672,1 \text{ MPa} \quad (51)$$



Obr. 4.12 - Graf součinitele velikosti [4]



Obr. 4.13 - Graf součinitele jakosti povrch [4]

Mez únavy kritického místa šroubu

$$\sigma_c^x = \sigma_c \cdot \frac{\varepsilon_p \cdot \nu_\sigma}{\beta_{\sigma MAX}} = 410 \cdot \frac{0,84 \cdot 0,8}{2,22} = 124 \text{ MPa} \quad (52)$$

Součinitel sbíhavosti kritického místa šroubu

$$\psi_\sigma^x = \frac{\psi_\sigma}{\beta_{\sigma MAX}} \cdot \varepsilon_p \cdot \nu_\sigma = \frac{0,22}{2,22} \cdot 0,84 \cdot 0,8 = 0,07 \quad (53)$$

Dynamická bezpečnost na mezní amplitudě

$$k_{\sigma a} = \frac{\sigma_A^x}{\sigma_a} = \frac{\sigma_c^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{tSn}}{\psi_\sigma^x \cdot (\sigma_{tSm} - \sigma_{tSn}) + \sigma_{tSa}} = \frac{\sigma_c^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{tSn}}{(1 + \psi_\sigma^x) \cdot \sigma_{tSa}} = \frac{124 - 0,07 \cdot 223,5}{(1 + 0,07) \cdot 8,2} = 12,5 \quad (54)$$

Dynamická bezpečnost na horním napětí

$$k_{\sigma h} = \frac{\sigma_H^x}{\sigma_{tSh}} = \frac{\frac{2 \cdot \sigma_c^x + (1 - \psi_\sigma^x) \cdot \sigma_{tSn}}{1 + \psi_\sigma^x}}{\sigma_{tSh}} = \frac{2 \cdot \sigma_c^x + (1 - \psi_\sigma^x) \cdot \sigma_{tSn}}{(1 + \psi_\sigma^x) \cdot \sigma_{tSh}} = \frac{2 \cdot 124 + (1 - 0,07) \cdot 223,5}{(1 + 0,07) \cdot 239,8} = 1,8 \quad (55)$$

Díky těžko předvídanému charakteru únavového lomu a menší přesnosti výpočtu se volí dynamická bezpečnost mírně vyšší. Konkrétně v rozmezí 1,7 až 2,5. Tím pádem šroub vyhovuje.

4.6.8 Výsledná bezpečnost šroubu

$$k_v = \frac{k_\sigma \cdot k_\tau}{\sqrt{k_\sigma^2 + k_\tau^2}} = \frac{1,8 \cdot 2,6}{\sqrt{1,8^2 + 2,6^2}} = 1,5 \quad (56)$$

Šroub, který je optimálně navržen, má mít hodnotu výsledné bezpečnosti v rozmezí 1,1-1,7. Z toho vyplývá, že je tento šroub ideálně navržen.

5 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout zařízení pro lisování malých pouzder do výlisku z plechu. V úvodu této práce je uvedení do problematiky lisování.

Můj návrh bude poháněn pneumaticko-hydraulickým pohonem, který zajišťuje dostatečně velkou sílu pro nalisování pouzder; lisovací síla vyšla 6036,5 N. Pohon jsem zvolil s lisovací silou 38 500 N. Přes horní desku a sloupy je pohon spojen se základní deskou. Horní deska je kontrolována metodou konečných prvků. Bezpečnost této desky vyšla $k_s = 1,2$. Další kontrolovanou součástí je ovládací páka. Pomocí té obsluha ovládá celé zařízení. Páka je namáhána na ohyb a tah. Bezpečnost páky vyšla $k_s = 1,59$. Razníková deska, která je vedena pomocí 2 vodících sloupků, se taktéž podrobila kontrole. Podmínka $\sigma_o \leq \sigma_{dov}$ byla splněna. Deska tedy vyhovuje. V neposlední řadě jsem kontroloval také samotná pouzdra. Ta byla kontrolována na otláčení. Podmínka $p \leq p_{dov}$ byla splněna. Nejnáročnější byla kontrola šroubu s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, který spojuje sloup se základovou deskou. Tento šroub musel být podroben dynamické kontrole. A to z důvodu vysokého počtu cyklů, které by mělo zařízení vykonat. U tohoto výpočtu byl problém s nízkým poměrem tuhostí. Tento problém byl vyřešen několika konstrukčními úpravami. Výsledná bezpečnost šroubu vyšla $k_v = 1,5$. Výsledná bezpečnost ideálně navrženého šroubu se nachází v rozmezí 1,1-1,7, z čehož vyplývá, že šroub byl ideálně navržen.

Při konstrukci zařízení byla snaha vytvořit ho co nejjednodušeji na výrobu a montáž. Dále také byla snaha obsluze co nejvíc zjednodušit a neznepríjemnit práci na stroji. Aby nedošlo k pracovnímu úrazu, je zařízení vybaveno několik bezpečnostními prvky. Ty chrání nejen obsluhu, ale i osoby pohybující se v okolí. Dalším požadavkem, který se stává čím dál tím víc důležitý, je cena. U konstrukce zařízení byl kladen důraz na co nejnižší výrobní náklady. Dalším aspektem, na který byl kladen důraz, je velikost stroje. Stroj byl velikostně navržen tak, aby při montáži bylo možné zařízení správně sestavit. Na druhou stranu byla snaha zařízení co nejvíce zmenšit.

Podařilo se vytvořit stroj, který bude příjemný pro obsluhu a bezpečný. Velikost stroje je přiměřená k lisovací síle. Celkově se podařilo vytvořit jednoduchý jednoúčelový stroj. Ten se ale může přidáním nebo záměnou některých komponent předělat na stroj s jiným účelem. Všechny cíle práce byly tedy bezpodmínečně splněny.

6 Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5. upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4. Tabulky.
- [2] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů: Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2012, 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [3] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS, HARTL, Martin a Miloš VLK, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic, sv. 3. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [4] Kaláb, K.: *Návrh a výpočet dynamicky namáhaného šroubu kruhového přírubového spoje*. *Vysokoškolská příručka*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2018. www.347.vsb.cz
- [5] Havlík, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2017. www.347.vsb.cz
- [6] Mechanický lis 1T - Profigaraz.cz. *Vítejte v e-shopu Profigaráz.cz - Profigaraz.cz* [online]. Copyright © [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.profigaraz.cz/mechanicke-lisy/mechanicky-lis-1t/>
- [7] Profesionální hydraulické lisy. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © produkty [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.manutan.cz/cs/mcz/profesionalni-hydraulicke-lisy-mig2626646>
- [8] *Průmyslové značení a trvalé značení | Pramark* [online]. Copyright © 2011 [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pramark.cz/montazni-lisy/pneumaticke-lisy/>
- [9] Pneumaticko-hydraulické pohony-TOX®- Powerpackage|TOX® PRESSOTECHNIK|TOX® PRESSOTECHNIK. *Jednička na trhu systémů pohonů a spojovací techniky | TOX® PRESSOTECHNIK* [online]. Copyright © TOX [cit. 19.03.2019]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/vyroby/pohony/pneumaticko-hydraulicke-pohony/prehled-toxr-powerpackage/>
- [10] Úpravy frézky. Ložiska předlohy[online]. Copyright © [cit. 09.05.2019] Dostupné z: <http://www.frezka.borec.cz/loz-pr.htm>
- [11] *SŠ-COPT Kroměříž* [online]. Copyright © [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=26904&revision=-1&instance=2>

- [12] Special Purpose Machine for SS Bellows - Avesh Hydraulics, Pune | ID: 8398619255. *IndiaMART - Indian Manufacturers Suppliers Exporters Directory, India Exporter Manufacturer* [online]. Copyright © 1996 [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/special-purpose-machine-for-ss-bellows-8398619255.html>
- [13] Zesilovače tlaku a pneumaticko-hydraulické systémy. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zesilovace-tlaku-a-pneumaticko-hydraulicke-systemy.html>
- [14] Zesilovače tlaku a pneumaticko-hydraulické systémy. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zesilovace-tlaku-a-pneumaticko-hydraulicke-systemy.html>
- [15] Pneumaticko-hydraulické pohony – TOX®-Powerpackage | TOX® PRESSOTECHNIK | TOX® PRESSOTECHNIK. *Jednička na trhu systémů pohonů a spojovací techniky | TOX® PRESSOTECHNIK* [online]. Copyright © TOX [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/vyroby/pohony/pneumaticko-hydraulicke-pohony/prehled-toxr-powerpackage/>
- [16] *SŠ-COPT Kroměříž* [online]. Copyright © [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=26904&revision=-1&instance=2>
- [17] Pneumatic Presses | baltecorporation.com. *Most modern riveting machines for joining technology since 1968* [online]. Copyright © 2016 BalTec. All rights reserved. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://baltecorporation.com/en/content/pneumatic-presses>
- [18] Hydraulické a pneumatické pohony ve strojírenství. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hydraulicke-a-pneumaticke-pohony-ve-strojirenstvi.html>
- [19] 19.312:: [online]. Copyright © 2012 Všechna práva vyhrazena. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://nozemenhart.webnode.cz/news/a19-312/>
- [20] Bolzano | Přehled vlastností ocelí C45. *Bolzano | Úvod* [online]. Copyright © 2019 Bohdan Bolzano, s.r.o. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z:

<https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-c45>

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy

Výkres pouzdra